E/CONF.39/A/381
26 Nov.1962
ORIGINAL : FRANCAIS

CONFÉRENCE DES NATIONS UNIES
SUR L'APPLICATION DE LA SCIENCE ET DE LA TECHNIQUE
DANS L'INTÉRÊT DES RÉGIONS PEU DÉVELOPPÉES

Point de l'ordre du jour : A.4.2.5

Sénégal

L'ENERGIE SOLAIRE AU SENEGAL, SES APPLICATIONS

Par H. MASSON,
Doyen de la Faculté des Sciences de Dakar,
Directeur de l'Institut
de Physique Météorologique

Les mémoires rédigés à l'intention de la Conférence des Nations Unies sur l'application de la science et de la technique dans l'intérêt des régions peu développées sont des documents de travail. Ils sont publiés tels qu'ils ont été présentés et les assertions et opinions qu'ils contiennent sont celles de leurs auteurs.

NOTES

1. Les mémoires choisis pour être présentés en séance générale pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

2. Les mémoires choisis pour être présentés en séance spéciale pourront être obtenus à la Conférence dans l'une seulement de ces langues officielles.

3. Les résumés qui ont été rédigés pour tous les mémoires par les auteurs de ceux-ci pourront être obtenus à la Conférence dans les langues officielles suivantes des Nations Unies: anglais, espagnol, français et russe.

4. Préalablement à la Conférence, les mémoires et les résumés ne feront pas l'objet d'une distribution générale mais d'un tirage restreint destiné aux délégations des gouvernements et autres participants officiels. La publication et la distribution générale des actes de la Conférence s'effectueront conformément aux règles et pratiques agréées par le Comité des publications des Nations Unies.

L'ENERGIE SOLAIRE au SENEGAL - SES APPLICATIONS

Par H. MASSON
Doyen de la Faculté des Sciences de DAKAR
Directeur de l'Institut de Physique Météorologique

a) LA RADIATION SOLAIRE

i) L'absorption de l'atmosphère

Nous admettrons avec Johnson que la constante solaire aux confins de l'atmosphère est de 2 cal/cm^2/mn. Durant son passage dans l'atmosphère l'intensité du rayonnement solaire diminue considérablement. Cet affaiblissement a plusieurs causes.

Les molécules des éléments constitutifs de l'air et les impuretés qu'il contient diffusent le rayonnement.

De plus avant de parvenir au sol, les rayons solaires doivent traverser des milieux absorbants : une couche d'ozone et une couche d'air dont l'épaisseur varie avec l'inclinaison des rayons. Cet air contient de la vapeur d'eau et des poussières susceptibles d'absorber elles aussi le rayonnement. Il en résulte que le coefficient de transmission de l'atmosphère est fonction de la longueur d'onde et demeure inférieur à l'unité.

Cette considération est capitale si l'on veut étudier l'utilisation de l'énergie solaire dans certaines régions tropicales où l'état hygrométrique est fréquemment voisin de 100 % . Sous une même latitude, le coefficient de transmission peut varier considérablement. De même par temps sec, mais en période de brume sèche, l'intensité de la radiation solaire peut diminuer dans de fortes proportions.

ii) - La mesure de la radiation solaire

On conçoit l'importance de la mesure de la radiation solaire partout où l'on veut l'utiliser On se sert à cet effet de thermocouples montés en série. Le courant produit est proportionnel au flux calorifique incident. Il importe de protéger l'appareil contre les actions extérieures (vent, pluie) et de ne pas absorber la radiation incidente. Chaque fabricant a sa technique. Les piles thermoélectriques employées à Dakar, sont

des piles Volochine. Elles sont montées sur place et protégées par une double enveloppe hémisphérique transparente. L'étalonnage est effectué grâce à deux pyrhéliomètres Angström qui se contrôlent mutuellement.

Chacun de ceux-ci est constitué de 2 ensembles thermoélectriques identiques montés en opposition. L'un sous l'effet du rayonnement solaire devient le siège d'une force électromotrice E_1 L'autre s'échauffe sous l'effet d'un courant auxiliaire et engendre une force électromotrice E_2 . Quand $E_1 = E_2$, la puissance E_2 (connue) fournie par le courant auxiliaire est égale à la puissance du rayonnement solaire à l'instant considéré. Les coefficients d'étalonnage s'expriment en millivolt par calorie, par cm^2 , par minute.

Le rayonnement solaire peut être reçu sur une surface horizontale. On mesure alors la radiation globale I_g et l'appareil récepteur s'appelle un pyranomètre. On peut aussi disposer la surface réceptrice perpendiculairement au rayonnement solaire. Si l'on prend soin d'arrêter par un écran circulaire, le rayonnement venant du ciel pour ne conserver que le rayonnement du soleil on obtient la radiation directe I_D . L'appareil s'appelle alors un pyrhéliomètre. Il faut l'orienter dans la direction convenable. Pour des enregistrements continus, on utilise un mouvement d'horlogerie. Au contraire si, avec un disque plein ou un anneau, on arrête le rayonnement direct, pour ne laisser arriver que le rayonnement du ciel, on obtient la radiation diffuse I_e . Il faut évidemment avoir $I_g = I_D \sin h + I_e$, h étant la hauteur du soleil.

La lecture des valeurs instantanées est immédiate. Pour connaître l'énergie rayonnée au bout d'une journée il est nécessaire d'intégrer. On peut opérer par planimétrie. A Dakar on utilise actuellement un intégrateur MECI. Un compteur numérique indique à chaque instant le nombre total de calories enregistrées.

iii) Influence de l'orientation On sait que l'énergie w reçue par un plan faisant avec la direction du rayonnement un angle $\frac{\pi}{2} - i$

est donnée par la formule $w = w_o \cos i$, i étant l'angle d'incidence et w_o l'énergie incidente. Brown et Marco ont donné une méthode pour déterminer l'angle d'incidence i de la radiation solaire directe sur une surface.

Dans tous les cas, l'incidence, donc l'énergie captée dépend de la hauteur du soleil - La latitude du lieu est donc un facteur essentiel dans la détermination de l'orientation la plus favorable d'un insolateur.

Théoriquement la radiation globale journalière tombant sur une surface est maximum quand la surface est perpendiculaire aux rayons solaires à midi. Pour les régions non comprises entre les tropiques cette surface est orientée vers le sud. Pour les zones intertropicales, cette surface est orientée vers le Nord durant les périodes où le soleil culmine au nord. Pourtant on remarque un léger accroissement de l'énergie reçue quand on diminue un peu l'angle de la surface avec la verticale. Ceci est dû au fait que l'énergie captée, grâce à la variation d'inclinaison augmente légèrement durant la matinée ou dans l'après-midi. Cette augmentation compense la diminution correspondante au moment de la culmination.

L'influence de l'orientation du récepteur complique le problème de la captation de l'énergie solaire. Si l'on veut obtenir des températures élevées par un système réflecteur, il faut ajouter un dispositif d'orientation toujours délicat et onéreux. Si l'on se contente de collecteurs plans, il faudra encore tenir compte de l'orientation et modifier l'inclinaison de l'insolateur en fonction de la hauteur du soleil au moment de la culmination. Jusqu'ici, au Sénégal, il n'a pas été utilisé d'appareils à concentration des rayons. Leur construction, leur mise en place, leur entretien réclameraient des moyens techniques dépassant de beaucoup les possibilités des régions où ils doivent fonctionner. De plus, ils n'utilisent que la radiation directe. L'insolateur plan a l'avantage d'utiliser aussi la radiation diffuse émise par le ciel. Elle peut être importante dans les cas fréquents au Sénégal de brume sèche ou humide. Même avec les insolateurs plans, on a supprimé chaque fois que la chose a été possible, le système à orientation variable. La perte de rendement qui en résulte est compensée par la simplicité du fonctionnement.

iv) Les Résultats à DAKAR

Des mesures de rayonnement solaire ont été entreprises à Dakar en Décembre 1951. Depuis ce temps elles ont fait l'objet d'enregistrements continus. Depuis 1957, la radiation diffuse est aussi enregistrée. Jusqu'en 1960, la quantité totale d'énergie rayonnée dans une journée était obtenue par planimétrage. Depuis cette date, la radiation globale, la plus importante à connaître, est obtenue directement par simple lecture de l'intégrateur.

Chaque année la radiation globale passe par un maximum en Mars-Avril. A certains jours, elle atteint 700 calories par jour par cm^2 . Elle passe par un minimum en Août-Septembre, augmente souvent en Octobre, et on observe dans ce cas un 2ème minimum en Décembre. Les valeurs les plus basses enregistrées ont été de l'ordre de 200 calories/jour/cm^2

Si l'on admet une valeur moyenne de 500 calories par jour et par cm^2 pour une durée de 10 heures d'insolation par jour, on voit que l'on reçoit à Dakar une puissance moyenne de l'ordre de 0,5 Kilowatt par m^2 . Ce résultat est important si l'on envisage l'utilisation de l'énergie solaire. Il est intéressant de noter que la surface du soleil émet environ 75.000 Kilowatts par m^2 . La terre ne reçoit aux confins de l'atmosphère que 1,4 Kw, dont moins de la moitié,à cause de l'absorption parvient à la surface du sol.

v) Le Calcul de la Radiation globale

Si l'on veut utiliser l'énergie solaire, il importe de connaître l'intensité de la radiation au lieu même où l'on veut l'utiliser. Des conditions climatiques peuvent en effet amener des variations importantes d'un point à un autre, à cause de la présence dans l'atmosphère de corps absorbants. Parmi ceux-ci, l'eau est l'élément variable le plus important, qu'elle soit sous la forme de vapeur invisible ou sous forme de nuages. S'il n'y avait pas d'absorption il serait facile de calculer la radiation solaire en un point déterminé.

En réalité les choses se compliquent car l'atmosphère ne transmet pas intégralement la radiation. Elle contient de la vapeur d'eau

des gaz, des " grosses particules ", des gouttelettes qui absorbent, diffusent et réfléchissent le rayonnement. Il serait possible de calculer la valeur de la radiation transmise, connaissant la composition de l'atmosphère. Mais ce calcul est complexe et comporte un certain nombre de sources d'incertitude. De plus il ne tient pas compte de la présence de nuages. C'est la raison pour laquelle on préfère mesurer l'intensité de la radiation globale au lieu de la calculer.

Mais les pyranomètres sont chers. Ils demandent des enregistreurs ou des intégrateurs, chers eux aussi et un minimum d'entretien. Il n'a pas été possible jusqu'à présent de mettre au point au Sénégal un réseau pyranométrique. C'est à Dakar seulement que les mesures sont effectuées. Par contre, il existe dans la plupart des stations météorologiques des héliographes Campbell destinés à mesurer l'insolation. Puisqu'il existe une relation évidente entre la durée de l'insolation et l'intensité de la radiation globale, il est naturel d'essayer de calculer celle-ci en connaissant celle-la

vi) Relation entre la radiation globale et la durée de l'insolation

Il s'agit d'exprimer cette relation par une équation dont les coefficients numériques sont déterminés expérimentalement en un lieu où l'on dispose à la fois d'un pyranomètre et d'un héliographe Campbell. Dans ce qui suit, nous prendrons les résultats fournis par des mesures faites à Dakar, et nous supposerons qu'il est possible d'extrapoler aux autres points du Sénégal.

Angström avait proposé une relation de type linéaire

En fait, si l'on tient compte des faibles valeurs des coefficients, il semble préférable d'adopter avec Schuepp une relation non linéaire. La comparaison entre l'intensité de la radiation et la durée de l'insolation a été faite à Dakar avec les résultats obtenus de 1953 à 1961, soit une durée de 8 ans.

vii) Répartition de la radiation solaire au Sénégal

Moyennant ces relations, il est possible, connaissant l'insolation en un lieu donné, de connaître approximativement l'intensité de la radiation solaire en ce lieu.

La méthode manque évidemment de précision. Les principales sources d'incertitude sont :

1°) la mesure de la radiation au moyen de pyranomètres

2°) la mesure du temps de l'insolation au moyen de l'héliographe

Les résultats donneront donc seulement un ordre de grandeur. Les calculs ont été faits pour les localités où sont effectuées régulièrement des mesures d'insolation : Dakar (qui a servi de base) St-Louis - Thiès - Ziguinchor - Tambacounda. Les résultats concernent l'année 1956. Ils sont les suivants, en langleys par j/

	Dakar	St-Louis	Thiès	Ziguinchor	Tambacounda
J	514	441	520	417	461
F	512	528	560	520	544
M	552	541	560	547	554
A	584	574	577	517	584
M	533	530	520	501	547
J	509	504	506	417	504
S	455	488	509	380	458
A	436	478	444	305	412
S	474	481	464	412	399
O	520	492	533	464	492
N	530	501	550	544	520
D	429	380	444	436	412
Moyenne de l'année	509	495	517	458	495

b) LA CAPTATION de L'ENERGIE SOLAIRE

Les résultats que npus venons de calculer donnent la quantité de chaleur moyenne exprimée en langleys par jour (calories/cm^2/jour) que le soleil envoie jusqu'au sol. Comme on peut le constater, l'énergie solaire est une énergie " très diluée " . Elle varie avec les saisons et n'est disponible effectivement que 10 h. par jour environ. Il en résulte que sa captation et sa mise en réserve posent un problème de première importance. Au Sénégal, aucun moyen n'a encore été envisagé pour la mise en réserve de l'énergie solaire.

La captation proprement dite se fait au moyen d'insolateurs ou échangeurs solaires qui transmettent l'énergie à un fluide. Les insolateurs peuvent être convergents ou plans. Les insolateurs convergents utilisent des systèmes optiques capables de concentrer sur une faible surface ou dans un faible volume l'énergie reçue sur une grande surface. Ils nécessitent l'emploi de surfaces optiques de construction très soignée. Ils permettent d'obtenir des températures très élevées (de l'ordre de 3000°C), mais ils sont extrêmement onéreux et d'un entretien délicat. Pour cette raison aucun appareil de ce genre n'existe encore au Sénégal.

i) - Les pièges à calories

Par contre les insolateurs plans sont d'une construction très simple. Ce sont des " pièges à calories " Ils sont constitués d'une substance transparente au rayonnement solaire de longueurs d'onde comprises entre 0,4 et 2,5 μ. Sous l'effet de la radiation solaire, l'insolateur s'échauffe et émet des radiations de grande longueur d'onde pour lesquelles la substance transparente est opaque. Cette dernière est généralement constituée de verre. Mais le verre présente l'inconvénient d'être coûteux et fragile. C'est la raison pour laquelle au Sénégal on procède actuellement à des essais portant sur l'emploi de matières plastiques telles que le Téflon, le Mylar, le Tedlar. Les résultats semblent encourageants. Ces matières plastiques résistent bien aux intempéries et restent intactes pour des températures ne dépassant pas 80°C. Malheureusement leur emploi en brousse est considérablement gêné par le fait qu'elles sont fragiles, et en conséquence facilement détériorées par les animaux. Le Mylar aluminisé a été employé avec succès pour fabriquer des réflecteurs paraboliques peu coûteux.

Les insolateurs plans ont l'avantage, nous l'avons vu, d'utiliser non seulement la radiation directe, mais la radiation diffusée par le ciel dans le cas d'un temps nuageux. Il faut, leur rendement est relativement faible et ne paraît pas dépasser 45 à 50 %. De plus, la température atteinte par le fluide exposé au rayonnement est de l'ordre de 60 à 65°C. Les calories sont à " bas potentiel " et plus difficiles à utiliser.

ii) - Les Surfaces sélectives

Pour cette raison les recherches ont porté depuis quelques années sur les surfaces sélectives. On dispose

sur la surface à échauffer un revêtement constitué par un film semi conducteur. On sait que le coefficient d'absorption d'un semi conducteur augmente considérablement quand l'énergie des photons incidents est voisine de l'énergie de sortie. Des électrons sont alors libérés et émigrent dans la bande de conduction.

Des essais sont actuellement en cours à Dakar où l'on utilise différents revêtements, et en particulier ceux de Tabor. Les rendements des insolateurs se trouvent considérablement augmentés. Malheureusement le prix de revient de ces revêtements est encore mal connu.

c) Les Applications de l'Energie Solaire

Elles sont multiples. Certaines comme le chauffage des maisons ne font pas l'objet d'études au Sénégal. Nous les passerons sous silence.

i) Le chauffage de l'eau

C'est une des applications les plus courantes de l'énergie solaire. Il existe partout dans le monde des appareils de modèles variés. Depuis 5 ans à Dakar des chauffe-eau " Radiasol " sont en service. L'eau circule par thermosiphon dans un insolateur de $2m^2$ environ. L'accumulateur a une capacité de 200 litres. Plusieurs insolateurs et plusieurs accumulateurs peuvent être jumelés. Par les matins les plus froids d'hiver, quand la température est de l'ordre de 12°C, on peut obtenir après une journée normalement ensoleillée, de l'eau dont la température atteint 40 à 50°C. La température moyenne de l'accumulateur varie évidemment avec son débit.

Une étude systématique de l'appareil a montré que sur 100 calories incidents, 74 seulement parviennent à l'insolateur (pertes par réflexion, convection, rayonnement), et 52 parviennent à l'accumulateur. Sur ces 52, 4 sont rayonnées, 17 servent à échauffer les parois, 31 sont recueillies par l'eau d'utilisation. Le rendement total est donc d'environ 30 % . Il paraît difficile d'améliorer ce rendement sans augmenter considérablement le prix de l'appareil. Tel qu'il est constitué, il fournit facilement de l'eau pour les besoins domestiques d'une famille de 4 personnes. Pour les collectivités, il convient de jumeler plusieurs appareils. La température de sortie peut facilement s'évaluer si l'on connaît

la radiation solaire incidente, la surface de l'insolateur, la quantité d'eau à échauffer, sa température initiale et le rendement (ici 30 %). L'emploi d'un revêtement semi conducteur sur les plaques de l'insolateur permettrait sans doute d'augmenter ce rendement. Des essais sont en cours.

ii) La Production d'eau douce

Il s'agit de produire de l'eau douce L'idée n'est pas nouvelle : En 1872 fonctionnait au Chili un distillateur solaire de 5700 m^3 capable de fournir journellement 22.000 litres d'eau distillée. L'appareil a fonctionné 36 ans.

La distillation solaire paraît particulièrement importante dans les régions arides, fortement ensoleillées, où l'on ne trouve par contre que de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre. Il existe plusieurs modèles de distillateurs : Le distillateur flottant de Maria Telker, destiné à fournir de l'eau aux naufragés, le distillateur à étoffe noircie imbibée d'eau saumâtre et chauffé au soleil, le distillateur à concentration de petite dimension le distillateur à plan incliné. C'est ce dernier qui est utilisé actuellement à Dakar.

On définit le rendement d'un distillateur

$$\rho = \frac{\text{Quantité de chaleur utilisée pour la distillation}}{\text{Quantité de chaleur reçue du soleil}}$$

Le rendement du distillateur à plan incliné est d'environ 50 %. Il fournit en moyenne 4 litres d'eau par jour et par m^2. En mettant plusieurs plateaux en parallèle dans l'appareil, on augmente le rendement, mais le prix du litre d'eau recueillie augmente également.

Que faut-il penser de l'avenir de ces appareils ? Ils semblent bien adaptés aux petites installations dans les régions chaudes. Par contre ils ne semblent pas convenir pour des installations importantes. On estime que dans les régions arides, les besoins de 1000 familles s'élèvent à 40.000 litres d'eau par jour, soit une surface de 10.000 m^2 , ce qui est acceptable. Par contre dans une région industrialisée, on estime à 400 litres les besoins journaliers d'un individu. Une ville d'un million d'habitants devrait réserver aux distillateurs solaires une surface de

100 kilomètres carrés ! ! ! . On pourrait imaginer des distillateurs plus compliqués, par exemple des distillateurs à multiples effets dans lesquels la chaleur de condensation sert à chauffer l'eau à distiller. Le rendement est plus grand, mais le prix de revient augmente aussi. Peut-être le problème changerait-il d'aspect si l'on prévoyait l'emplacement du distillateur lors de la construction de la maison. Un mètre carré de distillateur fournit en principe de l'eau de boisson à un individu et revient approximativement au prix d'un mètre carré d'une habitation modeste.

Signalons enfin qu'une usine utilisant l'énergie thermique desmers produirait des quantités d'eau douce allant de 2 à 400 tonnes par jour, suivant la puissance de l'installation.

iii) La Cuisine solaire

Les insolateurs plans permettent d'obtenir des températures inférieures à 100°C. Leur emploi pour la cuisine est donc limité. Par contre, les systèmes à concentration employés pour la cuisine ne demandent pas un perfectionnement technique aussi poussé que dans le cas des fours solaires industriels. Une température de 200°C apparaît ici comme suffisante. Un appareil rudimentaire constitué de feuilles de mylar aluminisé sur une forme en ciment grossièrement parabolique donne déjà des résultats intéressants.

La grandeur d'une cuisinière solaire dépend de la puissance demandée. Une puissance de 1 kilowatt permet de porter 2 litres d'eau à l'ébullition en 10 minutes. Pour obtenir cette puissance avec une cuisinière solaire d'un rendement de 50 %, il faut capter le rayonnement sur une surface minimum de 2 m^2 . En fait, on peut se contenter de puissance de 0,2 kw et d'un rendement de 30 % , si l'on emploie des appareils moins perfectionnés. Dans ce cas la surface minimum du réflecteur est de l'ordre de 0,75 m^2 . Son prix, dans le cas du mylar aluminisé ne dépasse pas 3.000 Frs CFA en supposant une fabrication en série.

A Dakar, plusieurs essais ont été effectués, soit avec du matériel étranger, soit avec du matériel fabriqué sur place. Il faut pourtant reconnaître que même dans un pays de forte insolation et dépourvu de combustible, l'emploi de ce genre de cuisinières ne se généralise pas. On leur reproche d'être inu-

tilisables avant le lever du soleil et après son coucher. Ils sont relativement chers pour ceux à qui ils sont destinés. Ils sont peu pratiques. Au congrès de ROME en 1961, le délégué d'un pays où les régions arides sont nombreuses, a déclaré " J'ai offert à ma mère, personne cultivée, une cuisinière solaire d'un modèle perfectionné. Elle ne s'en sert pas et préfère brûler du bois qu'elle va parfois chercher bien loin " . Il faut en conclure qu'en dehors des osbtacles techniques ou financiers exposés plus haut il y a lieu de tenir compte des obstacles psychologiques.

iv) La Photosynthèse

Tous les jours, grâce à l'assimilation chlorophylienne, la feuille utilise l'énergie solaire pour faire la synthèse des composés organiques en partant du gaz carbonique et del'eau. Elle élabore ainsi les hydrates de carbone, le sucre, l'amidon, les huiles, les protéines qui lui sont nécessaires, et dont les animaux sont les bénéficiaires.

Examinons le rendement de l'opération dans le cas de l'arachide, une des principales ressources du Sénégal. On suppose que le rendement d'une culture est de 600 kg par hectare. Ces 600 kg se répartissent comme il suit : 180 kg de coques, 210 kg d'huile, 210 kg de tourteaux, dont les pouvoirs calorifiques sont respectivement 3500, 10700, 4500, soit une production de moyenne de 3.800.000 Kilocalories à l'hectare, ou 38 cal/cm^2 . On estime que l'arachide se développe en 3 mois. Supposons que la plante semée le 1er Juillet soit récoltée le 1er Octobre. Elle aura reçu du soleil durant ces 3 mois, une quantité de calories qu'on peut évaluer pour le Sénégal à 52.000 calories/cm^2.

$$\text{Le rendement } \rho \text{ est donc } \rho = \frac{38}{52.000} \# 0,07\ \%$$

Y a-t-il moyen théoriquement de l'améliorer ? Oui si le rendement théorique de la photosynthèse est supérieur à cette valeur. On sait que l'énergie lumineuse sert à fixer le carbone suivant la relation :

$w = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$. L'énergie d'un photon jaune est donc

$$w = \frac{6.62 \times 10^{-24} \times 3 \times 10^{8}}{0.5 \times 10^{-6}} = 4 \times 10^{-9} \text{ joule.}$$

Si un seul proton était suffisant pour fixer un atome de C il faudrait pour fixer un atome gramme de carbone :

$$\frac{6.02 \times 10^{23} \times 4 \times 10^{-9}}{4.18} = 57.000 \text{ calories}$$

Mais d'après F. Daniels, 8 quanta de lumière sont nécessaires pour fixer chaque atome de carbone. Il faudra donc pour fixer un atome gramme $57 \times 8 = 456$ kilocalories. Le pouvoir calorifique du charbon est d'autre part 9000 calories. Un atome gramme en brûlant dégage donc $9000 \times 12 = 108.000$ calories. Le rendement de la photosynthèse est donc dans ce cas $\frac{108}{456} = 0.24$

Dans ce qui précède, on a supposé que toute la lumière avait une longueur d'onde de 0.5 μ . Si la moitié seulement de la radiation solaire est effectivement utilisable, le rendement devient 0.12 . Il est considérablement supérieur à la valeur 0,0007 trouvée précédemment. Il y a donc possibilité d'amélioration.

De nombreuses expériences sont entreprises dans tous les pays en vue d'améliorer ce rendement. A Dakar on a essayé d'accélérer sous l'effet de la radiation solaire, la croissance d'un mélange d'algues apparues spontanément dans un bassin. Il s'agit d'un ensemble : Chlorelles, Senedesmus, Chlamydomonas, Cosmarium.

L'analyse chimique a révélé que ce mélange pourrait être utilisé avec profit comme matière alimentaire. Il contient en effet 12 % de protéines. Des cobayes ont été nourris durant 4 mois d'un mélange de ces algues.

On a ensuite essayé d'accélérer la croissance de ces algues en les immergeant dans un milieu riche en CO^2 , sous des intensités lumineuses variables. Les résultats étaient encourageants, Les expériences ont été interrompues faute de personnel désireux de poursuivre ce genre de recherches. Il n'est pas interdit d'envisager dans l'avenir une vaste culture d'algues destinées à l'alimentation. Il faut noter toutefois que de telles installations supposeraient la présence d'eau et de soleil.

v) La Production de Force Motrice

En théorie la transformation de la chaleur solaire en force motrice ne présente aucune difficulté. Nous avons grâce au soleil, une source chaude, grâce à l'air

ambiant, une source froide. Mais on sait que le rendement théorique maximum d'une machine thermique ρ est fonction des températures T_2 et T_1 des sources chaudes et froides $\rho = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$

Si l'on utilise un four solaire capable de fournir une température de 3000°C, ρ atteint 88 % . Par contre une machine thermique fonctionnant entre 100 et 15°C n'aura qu'un rendement théorique de 22 % . Nous avons vu les raisons pour lesquelles il est préférable de ne pas utiliser de systèmes à concentration. Il faut donc s'attendre dans ce genre d'applications au Sénégal à des rendements théoriques faibles. Les rendements pratiques donneront des valeurs inférieures aux précédentes.

a.) La Pompe Somor

Le problème est maintenant de trouver des fluides capables d'actionner un moteur thermique dans un intervalle de température de 60 ou 70°C à 20 ou 30°C . Les premiers essais de production de force motrice à partir du soleil ont été faits à Dakar avec une pompe Somor. Comme son nom l'indique, son but essentiel est d'amener en surface grâce à l'énergie solaire, l'eau d'irrigation. Avant d'être utilisée, cette eau sert à refroidir et à liquéfier le fluide.

Cette pompe à Dakar peut en moyenne fonctionner chaque jour de 9 h. du matin à 5 h. du soir. Elle fournit actuellement 7 litres d'eau à la minute. Le moteur, au début de son fonctionnement, tournait à 100 tours/minute et fournissait environ 10 litres d'eau à la minute. Actuellement, en raison de son usure, il ne tourne plus qu'à 70 tours/minute. La pompe fonctionne depuis 3 ans. Sa capacité thermique est suffisante pour supporter sans s'arrêter, une absence de soleil durant plusieurs minutes. La distance entre le niveau de l'eau dans le puits, et le point le plus haut de la conduite de refoulement, est en fonctionnement normal de 3 m. Des essais ont été faits pour une distance totale de 16 m. Pour cette hauteur le dispositf actuel fonctionne irrégulièrement.

L'entretien de cette pompe est pratiquement nul. Il faut la lancer chaque matin, et l'orienter deux fois par jour.

Le fluide utilisé est le gaz sulfureux. L'insolateur est composé de tubes réunis par une plaque noircie. Il a un rendement d'environ 45 % . Le rendement thermique est, nous l'avons vu, assez faible à cause des faibles différences de températures utilisées. Il ne dépasse pas 7 % . Enfin la partie mécanique du moteur et de la pompe ont chacune un rendement de 50 % environ. L'ensemble du dispositif a donc un rendement faible de l'ordre de 0;45 %. Etant donné que l'énergie solaire est disponible en quantités illimitées, ce faible rendement n'a pas d'importance. Le véritable problème est le prix de revient de l'ensemble.

b.) Possibilités d'amélioration

Des recherches très actives sont actuellement en cours à Dakar pour savoir s'il est possible d'augmenter ce rendement sans majorer les prix d'une manière prohibitive. Les modifications envisagées porteraient sur une meilleure captation de la chaleur solaire, le choix d'un fluide mieux approprié, une amélioration des coefficients d'échange. Les essais en cours sont satisfaisants, et un prototype doit être mis en action incessamment. Dans un deuxième stade de recherche, on se propose de supprimer le système alternatif pour lui substituer un système rotatif. La réalisation de ce projet dépendra des possibilités du laboratoire.

c.) Prix d'un moteur solaire

Au stade des prototypes, il est difficile de déterminer le prix de revient d'un appareil. Une fabrication en série modifiera profondément les données actuelles. Il est envisagé de n'employer que des pièces déjà fabriquées en série, ou pouvant facilement être fabriquées sur place. Il en résulterait un abaissement sensible du prix de revient.

1834 F - Nov. 1962 - 1,000